DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.07.011

基于 ProCAST 有限元模拟对衬板铸造工艺参数的优化

刘秀华

(安徽海螺川崎装备制造有限公司,安徽 芜湖 241000)

摘　要:选取衬板铸件及铸型方案作为研究对象,结合衬板铸件的结构和高铬白口铸铁的特性,对 4 种不同充型速度下的温度场和流场进行了有限元数值模拟。结果表明,衬板铸件的温度变化不是沿着从浇口到冒口方向梯度变化的。当充型速度 20 kg/s 时,衬板铸件中心区域可见“隔断式”温度变化,充型金属液保持规则的层状流动。当充型速度 30 kg/s 时,充型的金属液具有湍流的特征。

关键词:衬板;充型速度;温度场;流场

中图分类号:TG257　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)07-0675-04

Optimization of Lining Casting Process Parameters Based on ProCAST Finite Element Simulation

LIU Xiuhua

(Anhui Conch Kawasaki Equipment Manufacturing Co., Ltd., Wuhu 241000, China)

Abstract: The finite element numerical simulation of temperature and flow fields under four different filling velocities was carried out by selecting the liner castings and casting mold schemes as the research objects, combining the structure of liner castings and the characteristics of high chromium white cast iron. The results show that the temperature change of the lining casting is not along the gradient from the gate to the riser. When the filling speed is 20 kg/s, “partition” temperature change can be seen in the center area of the lining casting, and the filling molten metal keeps regular lamellar flow. When the filling speed is 30 kg/s, the molten metal filled has the characteristics of turbulent flow.

Key words: lining casting; filling speed; temperature field; flow field

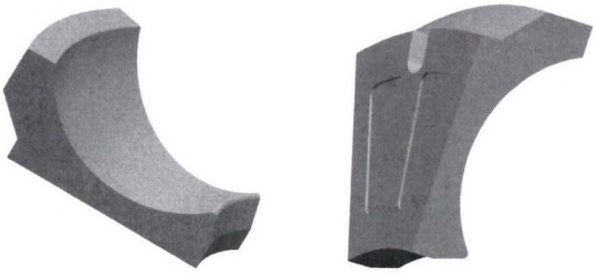
长期以来,衬板作为球磨机、立式辊磨机等机械设备的主要配件,广泛应用于水泥、建材、电力、冶金等行业内[1]。目前,国内外对于衬板的研究已经有了很多,这些研究主要集中在对衬板结构和尺寸的改进上。李占长等[2]通过对衬板尺寸和形状的改变使筒体衬板的使用寿命达到了 4 个半月;谢卓宏等[3]将溢流型球磨机筒体衬板单波峰设计改进为双波峰的设计结构,提高了球磨机的磨矿能力,同时延长了衬板的使用寿命;M.Rezaeizadeh[4]利用离散元法研究了衬板数量、宽度、高度等参数对衬板磨损量的影响;P.Jonsén[5,6]利用 DEM 与 FEM 相互耦合为衬板的结构设计提供了新的思路。但在传统铸造工艺条件下,衬板这种大型铸件在结构改善的基础上,往往会因为铸造工艺参数的不合理导致实际铸件出现例如缩孔、裂纹、气孔等铸造缺陷,这在一定程度上会降低衬板的使用寿命,进而阻碍了与其配套使用的机械设备的高效运作。对衬板结构和尺寸改进的同时不能忽略对衬板铸造工艺参数的优化。本研究在选用高铬铸铁作为衬板材质的条件下,通过 ProCAST 铸造工艺有限元数值模拟软件,对衬板铸件铸造工艺参数中的充型速度进行了数值模拟,以优化铸造工艺方案来提高衬板的成形质量和使用寿命。

1　衬板铸型方案设计

选取典型衬板铸件作为有限元数值模拟的对象,衬板铸件的形状特征如图 1。在满足铸件合理空间布置的基础上设计了相应的铸型方案,铸型方案的形状特征如图 2。在铸型方案设计中,浇注系统的设计以满足快速浇注的要求为主,冒口的设计为了使衬板铸件没有收缩缺陷,分为左右两个冒口分别进行补缩。

收稿日期:2019-04-04

作者简介:刘秀华(1966-),安徽铜陵人,工程师.主要从事钢铁耐磨材料研究方面的工作.电话:0553-8399535,E-mail:hlcqlxh@sohu.com



(a)正面　(b)背面

图 1 衬板铸件形状示意图

Fig.1 Schematic diagram of typical liner casting structure

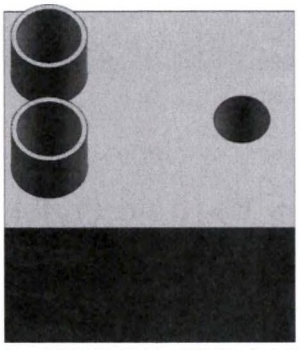


图 2 衬板铸件铸型结构示意图

Fig.2 Schematic diagram of typical liner casting mold structure

2 试验结果及讨论

2.1 充型速度的选取

在铸件的实际生产中，充型速度对铸件成形质量的影响是关键因素之一。充型速度不合理时，铸件易出现表面和内部气孔、夹杂、夹砂、缩孔、缩松等缺陷，合理的充型速度是得到高质量铸件的前提[7]。针对这些问题，本文结合衬板铸件的结构和高铬铸铁的特性，对 4 种不同的充型速度(20、30、40 、50 kg/s)做了相关的模拟研究。

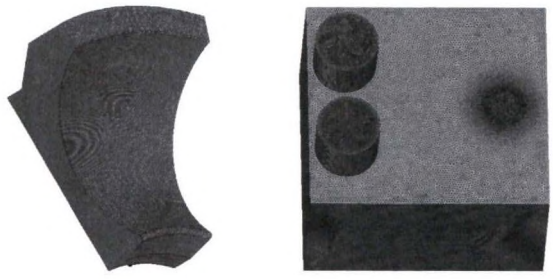
2.2 衬板有限元模型建立及前处理加载

采用铸件 / 铸型一体化建模方法，首先导入典型衬板铸件及其铸型的几何模型，然后通过 ProCAST 有限元模拟软件中的 MeshCAST 网格功能模块对铸件和铸型装配体进行 Surface Mesh （面网格）及 Volume Mesh(体网格)的划分。本次网格划分主要采用四面体网格，并对典型衬板铸件的边界处进行了局部网格加密。所建立的典型衬板铸件及其铸型的有限元模型如图 3。

在 ProCAST 有限元模拟软件的前处理模块 Precast 中对典型衬板铸件及铸型的有限元模型进行各热物理参数、运行参数、边界条件、初始条件以及重力条件等的设置如表 1[8]。

2.3 衬板凝固过程温度场数值模拟

本次研究在其它变量不变的前提下，对四种不同充型速度下的典型衬板铸件凝固过程中的温度



(a)衬板有限元模型　(b)衬板铸型有限元模型

图 3 衬板及其铸型有限元模型

Fig.3 Typical lining casting and casting finite element model

表1 铸件浇注前处理各条件设置

Tab.1 Setting of conditions for pretreatment of castings

参数名称	实际参数设置
铸件材料	高铬白口铸铁
铸型材料	硅砂
	浇注温度:1 420 ℃
边界条件	浇注时间:与充型速度对应
	冷却方式:自然空冷
界面换热系数	参考[9]
重力参数	方向:重力方向(垂直向下)
	加速度:9.8 m/s^2
初始条件	砂型的初始温度:20 ℃
	浇注的初始温度:1 420 ℃
浇注方式	重力浇注
运算步数	2 000 000
停止条件	整个铸件温度低于 20 ℃

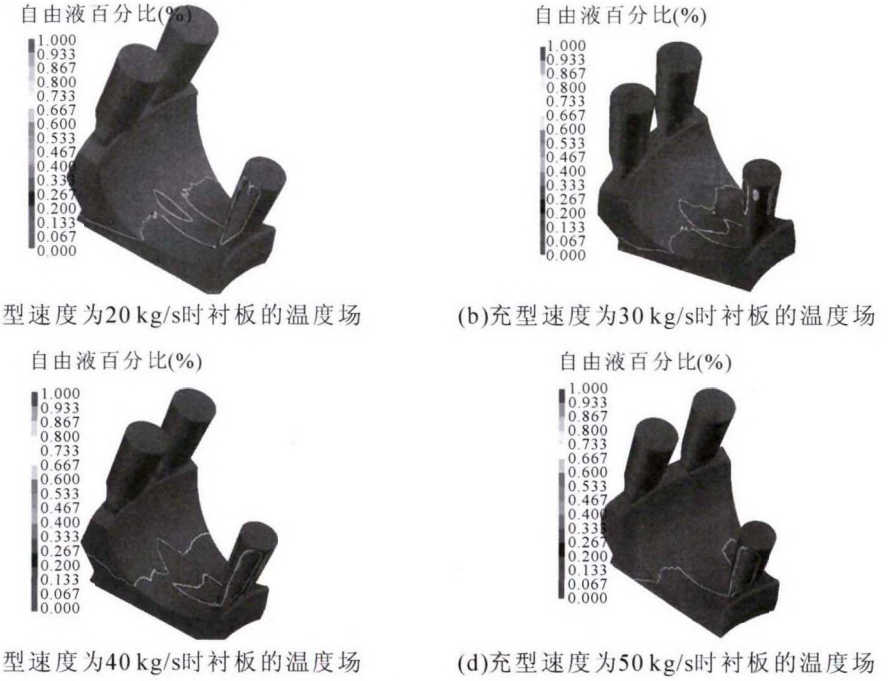
场进行了数值模拟，得到了充型过程中同一时间衬板铸件不同区域的温度情况，结果如图 4。

由有限元数值模拟结果可知，四种不同充型速度下的典型衬板铸件在充型过程中，温度变化不是沿着从浇口到冒口方向梯度变化的。在 20 kg/s 的充型速度下，8.9 s 时衬板铸件的中心区域已可见 “隔断式”的温度变化；在 30 kg/s 的充型速度下，7.1 s 时衬板铸件中心区域与两侧区域温度变化呈现出部分“交融”的趋势；在 40 kg/s 的充型速度下，7.1 s 时衬板铸件中心区域与两侧区域温度变化在部分“交融”后继续向冒口方向推进改变，而在浇口附近残留着较大的温度几乎没有改变的区域；在 50 kg/s 的充型速度下，2.6 s 时衬板铸件上已能明显看出金属液不规则的流动倾向。

2.4 衬板凝固过程流场数值模拟

本研究对 4 种不同充型速度下的典型衬板铸件凝固过程中的流场进行了数值模拟，得到了充型过程中同一时间衬板铸件不同区域金属液的流动情况，结果如下图 5。

由有限元模拟结果可知，4 种不同充型速度下的典型衬板铸件在充型过程中，金属液流动状态发



(a)充型速度为20 kg/s时衬板的温度场　(b)充型速度为30 kg/s时衬板的温度场

(c)充型速度为40 kg/s时衬板的温度场　(d)充型速度为50 kg/s时衬板的温度场

图 4 不同充型速度下衬板的温度场

Fig.4 Typical lining casting temperature field under different filling speed

(a)充型速度为20 kg/s时衬板的流场　(b)充型速度为30 kg/s时衬板的流场

(c)充型速度为40 kg/s时衬板的流场　(d)充型速度为50 kg/s时衬板的流场

图 5 不同充型速度下衬板的流场

Fig.5 Typical lining casting flow field under different filling speed

生了明显的改变。在 20 kg/s 的充型速度下,4.5 s 时衬板铸件中充型的金属液保持了规则的层状流动,金属液体层与层之间互不混淆;在 30 kg/s 的充型速度下,5.6 s 时衬板铸件中充型的金属液已有了湍流的特征, 第二层金属液体在向冒口方向流动时,还做了横向以及部分垂向流动,与周围金属液体有了混掺的趋势;在 40 kg/s 的充型速度下,5.1 s 时衬板铸件中充型的金属液湍流特征明显,金属液体做了横向、垂向以及部分逆向流动,与周围金属液体混掺、旋流融合凝固;在 50 kg/s 的充型速度下,3.0 s 时衬板铸件中充型的金属液已经无规则湍流流动。因此,选取 20 kg/s 的充型速度是比较合理的。

3 结论

(1)在典型衬板铸件以及相应设计的铸型方案条件下,选取的 4 种不同金属液的充型速度中,衬板铸件的温度变化不是沿着从浇口到冒口方向梯度变化的,在 20 kg/s 的充型速度下,衬板铸件的中心

区域已可见“隔断式”的温度变化。

(2)对典型衬板铸件流场的数值模拟中，在 20 kg/s 的充型速度下，衬板铸件中充型的金属液保持了规则的层状流动，在 30 kg/s 的充型速度下，衬板铸件中充型的金属液已有了湍流的特征。所以，选取 20 kg/s 的充型速度是比较合理的。

参考文献：

[1] 郭亚非，李洁，庞庆海，等. 立式磨机用高铬铸铁螺旋衬板热处理工艺研究[J]. 大型铸锻件，2019(1): 34-37，45.

[2] 李占长，黄雨，付向上，等. 大型半自磨机衬板的选材与制备[J]. 铸造技术，2019, 40(2):143-146.

[3] 谢卓宏，张岁庚. 半自磨机及球磨机衬板结构的改进[J].有色金属(选矿部分), 2019(1):73-77.

[4] Rezaeizadeh M, Fooladi M S, Powell S H, et al. A new predictive model of lifter bar wear in mills[J]. Minerals Engineering, 2010,23 (15): 1159-1244.

[5] Djordjevic N. Discrete element modelling of the influence of lifters on power draw of tumbling mills [J]. Minerals engineering, 2003, 16 (4) :331-336.

[6] Nenad Djordjevic. Influence of charge size distribution on net-power draw of tumbling mill based on DEM modelling [J]. Minerals Engineering, 2004,18(3).

[7] 孙敏. 金属液的充型速度对提高铸件质量影响的几则实例[J]. 安徽冶金科技职业学院学报, 2010, 20(S1):49-50，53.

[8] Bazhenov V E, Koltygin A V, Fadeev A V. The use of the ProCast software to simulate the process of investment casting of alloy based on titanium aluminide TNM-B1 into ceramic molds[J]. Russian Journal of Non-Ferrous Metals，2013(6)：551-555.

[9] 刘晋，彭必友，包有宇，等. 铸造模拟关键热参数的反求优化及应用研究[J]. 热加工工艺，2019，48(5):131-135，140.

(上接第 674 页)

SiC_p/A356 制动盘铸造工艺的建模，并采用 Visual-environment 软件完成了面网格和体网格的划分，通过 ProCAST 进行铸造模拟分析，基于虚拟制造过程中温度场和流场变化情况，以铸造缩孔缩松为判据，完成了内部无缺陷的 SiC_p/A356 制动盘金属型真空调压成形工艺设计和铸造样件。X 射线探伤结果表明制动盘内部质量完好，模拟结果与实际相吻合。

参考文献：

[1] 《国外高速列车译文集》编委会. 国外高速列车译文集(制动技术专集)[M]. 北京: 铁道部科学研究院机辆所, 1996.

[2] 杨智勇. 高速客车铝基复合材料制动盘热损伤和结构设计研究[D]. 北京：北京交通大学，2008.

[3] 韩建民. 高速列车 SiCp/A356 制动盘制造关键技术及摩擦特性研究[D]. 北京：北京交通大学，2004.

[4] Manfred K. Walther. Solidification analysis using CAST [J]. Modern Casting, 1984, 3:8-14.

[5] 沙镇嵩. 真空调压铸造技术研究与应用 [D]. 北京: 北京交通大学, 2005.

[6] Zhiyong Yang, Jianmin Han, Shihai Cui, et al. Solidification simulation of a SiCp/Al disk brake casting [J]. Journal of Ceramic Processing Research, 2006, 7(4): 363-366.

[7] 李铷寅，宋崇智. 基于冒口的 250 km/h 高铁制动盘铸造工艺研究[J]. 机械工程师，2017，(2)：44-45.

[8] 朱丽丽. 低压铸造铝合金车轮主要缺陷分析与控制[D]. 秦皇岛：燕山大学，2015.

[9] 尹延东，徐洪德，李殿中. 客车制动盘铸造工艺模拟与优化分析[J]. 铸造，2000：49(4)：219-222.

[10] 柳百成，荆涛. 铸造工程的模拟仿真与质量控制[M]. 北京：机械工业出版社, 2002.

[11] Xiao Feng, Yang Renhui, Fang Liang, et al. Solidification shrinkage of Ni-Cr alloys [J]. Materials Science and Engineering, 2006,132:193-196.

[12] Yang Jianwei, Du Yanping, Shi Rong, et al. Fluid Flow and Solidification Simulation in Beam Blank Continuous Casting Process with 3D Coupled Model[J]. Journal of Iron and Steel Research, International, 2006, 13:17-21.

《铸件均衡凝固技术及应用实例》

《铸件均衡凝固技术及应用实例》由西安理工大学魏兵教授编著。共 8 章：1、铸铁件均衡凝固与有限补缩；2、铸铁件冒口补缩设计及应用；3、压边浇冒口系统；4、浇注系统大孔出流理论与设计；5、铸件均衡凝固工艺；6、铸钢、白口铸铁、铝、铜合金铸件的均衡凝固工艺；7、浇注系统当冒口补缩设计方法；8、铸件填充与补缩工艺定量设计实例。全书 320 页，特快专递邮购价 226 元。

邮购咨询：李巧凤 029-83222071，技术咨询：13609155628